Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique
Région du Pacifique | Réponse des Sciences 2016/045

EXAMEN TECHNIQUE DE L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU TERMINAL 2 À ROBERTS BANK : SECTION 9.5 – GÉOMORPHOLOGIE CÔTIÈRE

1.0 Contexte

L'Administration portuaire Vancouver Fraser, anciennement Port Metro Vancouver (le promoteur), propose de construire et d'exploiter le Terminal 2 de Roberts Bank, un nouveau terminal portuaire pour conteneurs à trois postes d'amarrage à Roberts Bank, Delta, en Colombie-Britannique (ci-après appelé le Projet).

Le Projet est soumis à une évaluation environnementale par une commission d'examen en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012)*. En tant qu'autorité fédérale dans le cadre de l'évaluation environnementale du Projet de Terminal 2 de Roberts Bank, Pêches et Océans Canada (MPO) sera appelé à fournir des preuves à la commission d'examen et à des audiences publiques, à l'appui de l'expertise qu'elle fournit quant aux effets du Projet sur le poisson et son habitat, notamment sur les espèces aquatiques en péril, et à la pertinence des mesures d'atténuation et de compensation et des programmes de suivi et de surveillance proposés par le promoteur.

Pour élaborer l'énoncé des incidences environnementales (EIE), le promoteur a évalué la productivité future de l'écosystème de Roberts Bank au moyen du modèle d'écosystème Ecopath avec Ecosim et Ecospace (EwE) (Port Metro Vancouver 2015). Ces modèles sont sous-tendus par un modèle d'hydrodynamique et de transport des sédiments qui prévoit, jusqu'en 2050, les répercussions de l'installation du terminal, de l'agrandissement du pont-jetée et de l'agrandissement du bassin pour remorqueurs sur les sédiments alentour en raison du changement des vagues et des courants océaniques. Les résultats des modèles EwE sont ensuite incorporés dans l'analyse des effets potentiels du Projet sur la productivité continue des pêches commerciales, récréatives et autochtones.

Le Programme de protection des pêches (PPP) de la région du Pacifique du MPO a demandé à ce que la Direction des sciences du MPO évalue la caractérisation des effets du Projet réalisée par le promoteur au moyen du modèle de productivité d'écosystème EwE. Afin d'alimenter l'examen et l'évaluation de l'utilisation du modèle EwE par le promoteur, on a exigé une évaluation de la modélisation hydrodynamique et de la modélisation de la géomorphologie côtière. En raison de l'expertise fédérale que possède Ressources naturelles Canada (RNCan) en matière de transport des sédiments et de géomorphologie côtière, la présente réponse des Sciences a été réalisée conjointement avec RNCan qui a fourni un avis relatif au transport des sédiments et à la modélisation morphodynamique. Cette réponse des Sciences fournit un avis concernant la pertinence et l'applicabilité de l'évaluation hydrodynamique et de l'évaluation de la géomorphologie côtière présentées par le promoteur. L'évaluation et les avis découlant de cette réponse des Sciences du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) seront utiles à l'évaluation du modèle EwE et contribueront à la présentation générale que le MPO doit donner à la commission d'examen fédérale dans le cadre de son examen du projet du Terminal 2 à Roberts Bank.

Cette réponse des Sciences doit permettre d'atteindre les objectifs suivants :

Examiner la section 9.5 de l'EIE (annexe 9.5-A et annexe 9.5-B de l'EIE), Géomorphologie côtière (Port Metro Vancouver, 2015), et :

1. déterminer si les modèles proposés conviennent à la prévision des impacts de la mise en œuvre du Projet sur les courants, les vagues et la qualité de l'eau dans le milieu visé, de façon à fournir des données pertinentes au modèle Ecopath avec Ecosim et Ecospace;
2. évaluer si les paramètres utilisés dans les modèles d'hydrodynamique de géomorphologie sont valides et défendables pour l'environnement et le Projet visés;
3. évaluer si les limites et les incertitudes des modèles d'hydrodynamique et de géomorphologie ont été définies et correctement prises en considération dans la détermination de la représentation par le modèle des conditions actuelles et des conditions futures possibles;
4. fournir un avis indiquant si les résultats du modèle concernant les effets potentiels du Projet sur l'hydrodynamique et les sédiments sont crédibles et scientifiquement défendables.

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences de juillet 2016 sur l'Examen technique de l'application du modèle de productivité de l'écosystème Ecosim avec Ecopath et Ecospace (EwE) dans le cadre de l'évaluation environnementale du Terminal 2 à Roberts Bank. Il s'agit de la première de deux réponses des Sciences élaborées afin de fournir des avis au sujet de l'application du modèle EwE.

2.0 Renseignements de base

L'Administration portuaire Vancouver Fraser propose de construire et d'exploiter le Terminal 2 de Roberts Bank, à côté des terminaux de Deltaport et de Westshore à Delta, en Colombie-Britannique. En plus de la construction du nouveau terminal, le promoteur a proposé d'élargir la partie nord du pont-jetée actuel de Roberts Bank à partir de sa connexion à l'est avec la terre ferme jusqu'à l'entrée du nouveau terminal. Le promoteur propose aussi d'agrandir le bassin pour remorqueurs actuel, relié au côté nord-est du terminal de Deltaport. Le promoteur prévoit que le nouveau terminal portuaire devrait traiter jusqu'à 260 appels de porte-conteneurs par an à plein rendement, avec l'aide de deux ou trois remorqueurs d'escorte ou d'accostage pour faire manœuvrer les navires à destination et en provenance des postes d'amarrage qui leur sont attribués. Le terminal est conçu pour fonctionner 24 heures sur 24 tout au long de l'année. Les principaux éléments du Projet ont une superficie au sol totale d'environ 179 hectares (ha), répartis par élément comme suit :

- Terminal portuaire : 133,5 ha, comprenant le terminal (116,1 ha), la zone draguée du poste d'amarrage et les aires d'approche maritimes (17,4 ha);
- Pont-jetée élargi : 42,4 ha;
- Bassin pour remorqueurs agrandi : 3,1 ha.

Roberts Bank, dans l'estuaire du fleuve Fraser, se compose d'habitats intertidaux et infratidaux complexes, comprenant notamment des herbiers de zostère intertidaux qui constituent une aire de séjour importante pour les oiseaux de rivage migrateurs, et servent aussi d'habitats productifs d'alimentation et de croissance pour de nombreuses espèces de poissons et d'invertébrés faisant l'objet de pêches à haute valeur commerciale, ainsi que pour les épaulards (population résidente du sud) en voie de disparition et d'autres mammifères marins. Les conditions environnementales de Roberts Bank sont dynamiques et sont influencées par divers facteurs atmosphériques et océanographiques, notamment l'écoulement d'eau douce et le rejet

du panache de sédiments du fleuve Fraser, les courants de marée diurne, les vents et les vagues dominants et ceux que provoquent les tempêtes.

La modélisation hydrodynamique et morphodynamique a été effectuée par Northwest Hydraulics Consultants Ltd. (NHC), à l'aide des modèles TELEMAC-MASCARET. Ce système de modélisation est constitué d'un ensemble de modèles intégrés fondés sur la méthode des éléments finis pour laquelle l'espace est discrétisé sous forme de maillage non structuré à éléments triangulaires. TELEMAC-MASCARET est géré par un consortium d'organisations européennes et utilisé pour de nombreuses études côtières dans le monde. TELEMAC-3D (modèle hydrodynamique en trois dimensions pour résoudre les équations de Navier-Stokes avec surface libre à densité variable, hydrostatique ou non, éléments finis, mouillage/séchage), TOMAWAC (modèle spectral de prévision de vague de troisième génération qui résout l'équation d'équilibre de la densité d'action des vagues et intègre la génération du vent, les moutons, les interactions vague-vague non linéaires, l'exhaussement et la dissipation) et SISYPHE (modèle de transport des sédiments et de morphodynamique qui calcule les sédiments charriés sur le fond et les sédiments en suspension séparément ainsi que les changements du lit qui en résultent à l'aide de l'équation de Exner). Le présent document présente une analyse de la mise en œuvre locale de TELEMAC-3D, TOMAWAC et SISYPHE dans l'aire Roberts Bank.

Le processus à suivre pour la préparation de la présente réponse des Sciences a commencé par un examen initial de l'EIE présenté, suivi d'une réunion en personne avec le promoteur, ses entrepreneurs et des représentants du MPO et de RNCan afin de discuter des questions soulevées et de clarifier celles-ci (Vancouver, 23 novembre 2015). Le MPO et RNCan ont fourni des questions écrites au promoteur en se fondant sur l'examen préliminaire de l'EIE le 19 novembre 2015. Cette importante réunion initiale a été suivie par des réunions de plus petite envergure entre le promoteur, ses entrepreneurs, et le MPO et RNCan, le 11 décembre 2015 afin de clarifier les questions d'hydrologie et de modélisation des sédiments. Les réponses écrites aux questions de toutes ces réunions ont été fournies par le promoteur au MPO et à RNCan en tant que « réponse PMV 2016-03-02 » et « réponse PMV 2016-05-30 ». Les réponses de l'Administration portuaire Vancouver Fraser aux questions posées par le MPO et RNCan en ce qui concerne la modélisation de la géomorphologie côtière ont été publiées dans le Registre canadien d'évaluation environnementale (RCEE)Vancouver Fraser Port Authority, 2016)

3.0 Analyse et réponse

Pour préparer cette réponse, les sections suivantes de l'EIE / documents supplémentaires ont été examinés :

Document/Section	Titre
EIE Section 9.5 (Annexe 9.5-A et 9.5-B) (Port Metro Vancouver, 2015)	*Coastal Geomorphology* (Géomorphologie côtière)
RCEE document #547 (y compris les annexes)	*Vancouver Fraser Port Authority to the Review Panel re: Answers to preliminary technical questions submitted during the completeness phase from Fisheries and Oceans Canada, Natural Resources Canada, and Environment and Climate Change Canada, concerning*

Document/Section	Titre
(Vancouver Fraser Port Authority, 2016)	*the ecosystem modelling to support the Roberts Bank Terminal 2 Project environmental review.* (Administration portuaire de Vancouver Fraser à la Commission d'examen concernant : Les réponses aux questions techniques soumises au cours de la phase d'achèvement par Pêches et Océans Canada, Ressources naturelles Canada et Environnement et Changement climatique Canada à propos de la modélisation de l'écosystème à l'appui de l'examen environnemental du projet du Terminal 2 à Roberts Bank [traduction libre])

3.1 Modélisation hydrodynamique

3.1.1 Mise en œuvre locale du modèle

La grille du modèle comprend le Détroit Juan de Fuca (à l'est de Port Renfrew), la baie Puget, le bas Fraser (jusqu'à 36 km en amont de New Westminster) et le détroit de Georgie (au sud des Îles Ballenas) (figure 1). La grille comporte 28 000 nœuds à l'horizontale et 11 niveaux verticaux. La résolution horizontale varie de 3 km dans le détroit de Georgie à quelque 25 m à proximité du Projet.

Le modèle TELEMAC-3D est forcé par le courant du fleuve Fraser à la limite du fleuve en amont et par les niveaux de marées des huit principales composantes de marée aux limites de Port Renfrew et des Îles Ballenas (voir la figure 1). Les niveaux de marée aux limites ouvertes ont été obtenus par le Modèle de prévision de marée WebTide du MPO. Le débit du fleuve Fraser a été obtenu par la mise en œuvre du logiciel numérique MIKE11 conçu pour le fleuve Fraser par NHC. À la surface de l'eau, le modèle est forcé par la tension du vent calculée à partir des données horaires de vent mesurées par neuf stations locales différentes.

Le modèle initial de répartition de la salinité a été évalué à partir des valeurs de salinité mesurées par le MPO aux emplacements adjacents aux limites ouvertes du modèle, au cours de trois études saisonnières portant sur les propriétés de l'eau (avril, juin et septembre 2012). Une salinité de zéro est fixée pour le débit entrant du fleuve Fraser. La température de l'eau est maintenue à un degré constant dans le modèle.

La viscosité turbulente horizontale suit la formulation de Smagorinsky avec un coefficient de 1 m^2/s. La viscosité turbulente et la diffusivité verticales utilisent une formulation Prandtl avec une valeur de référence établie à $1x10^{-6}$ m^2/s. Les valeurs de frottement sur le fond de Nikuradse spatialement variables paraissent raisonnables; elles varient de 0,001 m dans le bassin plus profond à 0,005 m dans la zone peu profonde à végétation.

Le modèle a été initialement utilisé pour une période de démarrage de deux semaines afin de permettre au modèle de salinité de s'adapter au forçage à la limite. Le promoteur indique que la période a été jugée suffisamment longue pour garantir que la salinité et les niveaux d'eau ont atteint un équilibre statistique satisfaisant. Toutefois, aucune preuve d'un tel état d'équilibre n'est fournie.

Le modèle de vagues TOMAWAC utilise 25 fréquences exponentiellement espacées (0,125 Hz à 1 Hz) et 12 directions espacées de façon régulière. Il est mis en œuvre en tant que modèle non stationnaire, ce qui permet la croissance et l'affaiblissement des vagues de vent. Le modèle est forcé par le vent utilisé pour forcer le modèle TELEMAC-3D. Les simulations comportent également la dissipation des vagues par formation de moutons. Bien que le modèle permette l'inclusion de vagues incidentes aux limites ouvertes, cette option n'a pas été utilisée dans les simulations. La houle montante à la limite du détroit Juan de Fuca ne devrait pas avoir

d'incidence sur les conditions de vagues à Roberts Bank, mais en ne tenant pas compte des vagues qui pénètrent dans le domaine par la partie nord du détroit de Georgie, on pourrait sous-estimer l'énergie locale des vagues produite par un vent de nord-ouest. Toutefois, comme le démontre le promoteur (Vancouver Fraser Port Authority, 2016), le fetch plus restreint qui en résulte ne devrait généralement pas entraîner une différence importante en ce qui concerne la hauteur des vagues sur le site car, en règle générale, la formation des vagues serait limitée par le temps et non par le fetch.

Les courants et les vagues ont fait l'objet d'une simulation pour les trois mois d'« été » (MJJ) et les trois mois d'« hiver » (OND) de 2012. Le modèle morphodynamique a été appliqué durant 1440 jours, en répétant la période d'hiver de trois mois afin de stimuler une période d'intégration à long terme. Cela signifie que les résultats de la modélisation de la sédimentation ne sont pertinents que pour la période de l'hiver. L'hiver est généralement la période de l'année durant laquelle ont lieu les tempêtes les plus violentes.

On a utilisé trois méthodes de modélisation pour l'évaluation des incidences potentielles du projet :

1. Le modèle hydrodynamique (TELEMAC-3D) et le modèle de vagues (TOMAWAC) ont été appliqués en mode couplé pour évaluer les changements dans les courants.
2. Le modèle hydrodynamique (TELEMAC-3D) a été appliqué, sans les vagues, pour évaluer les répercussions sur la salinité.
3. Le modèle morphodynamique (SISYPHE) a été appliqué pour évaluer le transport des sédiments et les changements affectant la surface des replats de marée. Ces évaluations ont été effectuées sans inclure les effets potentiellement importants des vagues sur les sédiments (excepté pour la simulation des tempêtes extrêmes examinée dans la section 3.2.4 ci-dessous).

Chacune des trois méthodes de modélisation a été répétée selon les trois scénarios suivants :

1. Conditions actuelles
2. Conditions prévues (futures), sans le projet (incluant la hausse du niveau de la mer)
3. Conditions futures (comme dans la section 2), avec le projet

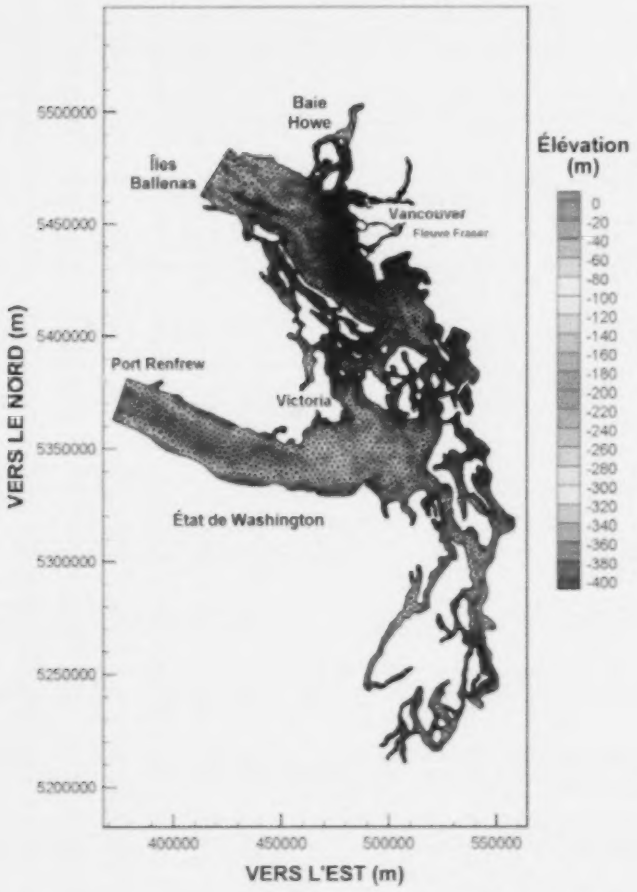

Figure 1 : Domaine du modèle TELEMAC-3D (Administration portuaire Vancouver Fraser, Énoncé des incidences environnementales, annexe 9.5-A, figure 2. Utilisé avec permission).

3.1.2 Comparaison des résultats du modèle avec les observations

Les résultats du modèle couplé hydrodynamique-vagues sont comparés aux données collectées pendant le mois d'août 2012. Plus précisément, le promoteur utilise : les niveaux d'eau à la pointe Atkinson et au passage Canoe, le débit au passage Canoe, la salinité au passage Canoe et à Roberts Bank, les courants de Roberts Bank (station du profileur d'onde acoustique et de courant [AWAC]) et la hauteur des vagues à Roberts Bank et au Banc du Flétan.

Niveaux d'eau : La différence d'écart moyen quadratique (EMQ) entre le modèle et le niveau d'eau observé est respectivement de 0,3 m et de 0,23 m pour la pointe Atkinson et le passage Canoe. Ces valeurs sont quelque peu supérieures à ce qui pourrait être prévu par un modèle de pointe de la circulation côtière, et le promoteur soutient que cela est dû au fait que le modèle n'inclut pas l'effet des conditions atmosphériques sur le niveau de la mer. On recommande la vérification de cet énoncé par l'application d'une simple correction pour tenir compte de la pression atmosphérique sur le niveau de la mer (effet de baromètre inversé). Ce type de correction est généralement appliqué pour les analyses semblables. Une fois cette correction

apportée, la comparaison entre le niveau d'eau observé et le niveau d'eau modélisé fournira une validation adéquate de la réponse du modèle au forçage par les marées.

Débit du fleuve : Le modèle hydrodynamique permet de simuler relativement bien la phase de marée de l'écoulement du fleuve, mais il présente un biais négatif général (débit sortant plus faible, débit entrant plus fort). La section 4.2 de l'annexe 9.5-A de l'EIE comporte une erreur dans l'énoncé : « Le modèle surestime généralement le débit sortant et sous-estime le débit entrant »; cet énoncé est en contradiction avec le biais réel. Un tel biais dans le débit du fleuve pourrait donner lieu à un biais positif dans le modèle de salinité aux environs de Roberts Bank (pas suffisamment d'eau douce provenant du fleuve), ce qui pourrait alors avoir une incidence sur l'hydrodynamique locale.

Courants : Les courants, mesurés par un AWAC disposé à 1,7 km à l'ouest du Terminal de Roberts Bank et à 6,3 m de profondeur, sont comparés aux résultats du modèle à des élévations de 4,4 et 2,4 m à distance du fond. Très peu de renseignements sont fournis sur la comparaison. Toutefois, les figures 11 et 12 (annexe 9.5-B de l'EIE) montrent de manière évidente que les courants du modèle ne semblent pas changer avec la profondeur, tandis que les observations indiquent clairement des courants plus forts lorsqu'on se rapproche de la surface. Étant donné que des ensembles de données supplémentaires sont disponibles (profileur de courant à effet Doppler [ADCP], AWAC, et données collectées en hiver), on recommande une validation plus complète des courants du modèle afin d'accroître la confiance dans les résultats de modèle.

Vagues : La comparaison entre les vagues mesurées et modélisées dans deux sites (Banc du flétan et Roberts Bank) indique un accord raisonnablement bon pour la période de comparaison, avec une légère sous-estimation de la hauteur des vagues par le modèle. Toutefois, aucune grande tempête n'a été incluse dans la période de validation (août 2012). Par conséquent, la capacité du modèle à effectuer une simulation de grandes vagues de tempête avec exactitude n'a pas été démontrée.

Salinité: On a trouvé que le débit entrant du modèle au passage Canoe était plus important que celui observé, ce qui coïncide avec des intrusions de salinité du modèle généralement trop fortes. Toutefois, les intrusions de sel occasionnellement fortes mesurées sont omises par le modèle. À Roberts Bank, les profils de salinité sont comparés pour le 2 août et le 29 août, à trois emplacements (T1, T10 et T16). Très peu de profils de salinité sont présentés; les profils mesurés et les profils modélisés sont présentés dans des figures distinctes, ce qui complique la comparaison. Plusieurs caractéristiques de la répartition spatiale de la salinité sont saisies par le modèle (p. ex. conditions verticales mélangées à T16), mais certaines sont manquantes (conditions stratifiées à T1, le 2 août). Le promoteur définit l'incertitude concernant la salinité aux limites ouvertes du modèle comme une source importante d'incertitude concernant la salinité du modèle à Roberts Bank, et il précise que : « Les résultats du modèle pourraient être améliorés si d'autres profils de salinité sur le terrain... étaient disponibles » (p. 22 de l'annexe 9.5-B de l'EIE). Nous estimons qu'il est très peu probable que des changements de salinité aux limites ouvertes relativement éloignées aient une incidence importante sur la salinité du modèle de Roberts Bank. Par conséquent, il est de notre avis que l'incapacité du modèle à représenter avec exactitude l'hydrodynamique complexe du panache du fleuve Fraser est la cause plus que probable des imprécisions du modèle. Un test de sensibilité du modèle, dans lequel les valeurs de salinité aux limites ouvertes varieraient, est recommandé pour clarifier la source de l'incertitude relative à la salinité dans les résultats du modèle.

3.1.3 Résultats du modèle

Les résultats du modèle hydrodynamique sont utilisés pour évaluer les répercussions du projet sur la circulation océanique, la salinité et le régime des vagues, ainsi que les modifications du

régime des vagues littorales résultant du changement climatique (élévation du niveau de la mer de 0,5 m).

Circulation océanique : Les changements dans les courants océaniques causés par le Projet ont été évalués par la comparaison des résultats du modèle hydrodynamique-vagues pour les conditions existantes et pour les conditions futures avec le Projet. Les résultats sont bien résumés dans les figures 65 et 66 (annexe 9.5-A) qui présentent les changements dans le 50^{e} centile des vitesses du courant en lien avec le Projet, pour la période d'été et d'hiver. Les résultats indiquent une augmentation de vitesse (+0,1 m/s) dans une zone relativement importante à l'ouest de la structure proposée et une diminution de vitesse le long de la façade de la structure donnant sur le large (-0,05 m/s), ainsi que dans les deux zones où la jonction de la nouvelle et de l'ancienne structure forme un coude (-0,3 m/s).

Salinité : Les résultats présentés par le promoteur sont limités aux valeurs de salinité verticale moyenne, sans aucun renseignement sur la structure de salinité verticale. Le modèle hydrodynamique a été utilisé dans cette section sans être couplé aux vagues. Les figures 78 et 79 (annexe 9.5-A de l'EIE) illustrent les changements dans le 50^{e} centile de la salinité dus au projet pour les périodes de l'été et de l'hiver. Les résultats indiquent une augmentation de la salinité (jusqu'à +4 usp) dans la zone en eau peu profonde au nord-ouest de la structure proposée, et une diminution de la salinité (jusqu'à -8 usp) le long du côté nord du pont-jetée. Ces variations sont causées par l'eau relativement salée apportée sur le replat de marée par les courants de flot détournés vers le nord-ouest par la nouvelle structure.

Régime des vagues : Les figures 93 et 94 (annexe 9.5-A de l'EIE) illustrent la réduction du 50^{e} centile de la hauteur de vagues causée par le projet, en été et en hiver. Une grande zone d'ombre d'énergie réduite des vagues est présente sur les côtés nord et ouest de la structure proposée. Dans ce secteur, une réduction de 50 à 100 % de l'énergie des vagues entraînerait une mobilisation et une suspension des sédiments moins fréquentes. De plus, une augmentation de l'énergie des vagues sur la façade est de la structure proposée est probable, en raison de la réflexion des vagues entrantes provenant du sud-est et du sud. Ce dernier élément n'est pas représenté par les résultats du modèle, mais mentionné dans le rapport (p. 149 annexe 9.5-A de l'EIE). Cette augmentation pourrait entraîner un affouillement local additionnel des sédiments.

Changement climatique et régime de vagues : Il est démontré qu'une élévation du niveau de la mer entraînera une énergie accrue des vagues dans la zone d'eau peu profonde des replats de marée supérieurs, avec ou sans la structure proposée. Toutefois, les changements de bathymétrie causés par les ajustements localisés du profil de la pente escomptés n'ont pas été intégrés à l'analyse.

3.2 Transports des sédiments et modélisation morphodynamique

3.2.1 Pertinence du modèle

SISYPHE est un modèle morphologique côtier bien établi, axé sur le processus (déterministe), qui permet de simuler des changements morphologiques (Amoudry et Souza 2011). Le promoteur indique que SISYPHE était mû par le modèle TELEMAC-3D, auquel il fournissait une rétroaction, en coordonnant les pas de temps. Pour les simulations présentées dans l'exercice de validation (annexe 9.5-B de l'EIE), le module propagation des vagues a également été couplé à SISYPHE. Toutefois, les vagues n'ont pas été intégrées dans les exécutions du modèle morphodynamique subséquentes.

Amoudry et Souza (2011) ont évalué TELEMAC/SISYPHE ainsi que d'autres modèles côtiers, et ils en sont venus à la conclusion que tous ces modèles comportent d'importantes

incertitudes. Ils affirment que « même le modèle le plus avancé actuellement ne peut que prédire le transport des sédiments en deçà d'un facteur de deux au mieux, et qu'il n'est pas rare de constater un grand nombre d'incertitudes. Ceci, en raison de l'amplification importante de petites erreurs dans l'hydrodynamique, ce qui peut facilement s'expliquer par la dépendance de la puissance des taux de transport des sédiments à la vitesse d'écoulement (puissance trois pour le taux de transport de la charge de fond et puissance supérieure à trois pour la charge suspendue) » [traduit de l'anglais]. Amoudry et Souza (2011) recommandent que les études de modélisation comportent une analyse de sensibilité et une évaluation de l'incertitude qui leur est propre.

L'utilisation d'un seul calibre granulométrique (175 microns; sable fin) pour caractériser les sédiments dans la zone étudiée représente un point particulièrement préoccupant de l'étude de Roberts Bank. Alors que les données de granulométrie recueillies par McLaren et Ren (1995) et Hemmera (2014) dans la figure 14 de l'annexe 9.5-A de l'EIE indiquent que le calibre granulométrique devrait être d'une moyenne acceptable pour l'ensemble de l'étude, l'examen détaillé des échantillons indique une variabilité spatiale, surtout aux environs de Deltaport, où certains échantillons comportent + de 50 % de limon et d'argile. Selon Amoudry et Souza (2011), il est recommandé de présenter des tests explicites et des explications de la sensibilité du modèle par rapport au calibre granulométrique et à d'autres valeurs présumées.

3.2.2 Validation du modèle

La validation des modèles morphodynamiques au niveau du processus est fondamentalement difficile à obtenir, car les techniques de mesure du transport des sédiments de la charge de fond et de la charge suspendue requièrent beaucoup d'équipement et de temps, et l'on peut sans doute affirmer que dans le cas du transport de la charge de fond, c'est presque impossible. Le promoteur a choisi une méthode raisonnable consistant à comparer les résultats finaux (nets) du modèle aux observations à long terme en appliquant le modèle couplé morphodynamique-vagues-hydrodynamique durant 1440 jours, dans les conditions de l'hiver 2012 et en comparant les résultats aux changements morphologiques observés entre 2002 et 2011 à partir de données bathymétriques et des données LIDAR. Tandis que dans l'ensemble, les changements nets sont relativement faibles, les résultats de modélisation reproduisent assez bien la plupart des détails des changements observés, par exemple, le long de la berge, dans le petit chenal de marée, juste à l'est du passage Canoe et près du coin sud-ouest de Deltaport.

Une validation avec des changements observés plus importants aurait été préférable, mais dans la mesure où l'on observe peu de changements depuis neuf ans, on considère l'exercice de validation comme étant acceptable.

3.2.3 Simulations modélisées

La modélisation morphodynamique est fondée sur la moyenne des conditions de tempête pour une année (2012). Parce qu'il existe une condition de valeur seuil pour le transport des sédiments granuleux et que le lien entre la hauteur des vagues et le transport des sédiments pour une granulométrie particulière n'est pas linéaire, les vagues extrêmes participent généralement de manière importante aux dommages de la structure côtière et aux affouillements. Dans l'ensemble, le transport des sédiments causé par les tempêtes extrêmes peut être beaucoup plus important celui causé par les tempêtes moyennes. L'expérience en matière d'ingénierie côtière suggère que les fortes tempêtes peuvent avoir des effets importants et irréversibles sur la géomorphologie côtière. Dans le domaine de l'ingénierie côtière, il est donc de pratique courante de réaliser la conception en fonction des conditions de vagues extrêmes.

De même, pour une évaluation environnementale, le scénario de cas extrême doit être modélisé, en raison de la possibilité que les changements morphologiques causés par des tempêtes extrêmes puissent être d'une ampleur supérieure à ceux de l'étude, qui sont modélisés dans des conditions modérées. Il n'est pas évident qu'une analyse des vagues extrêmes ait été effectuée pour Roberts Bank et, si cela n'a pas été fait, on recommande que le promoteur effectue une simulation rétrospective pour simuler les conditions de vagues extrêmes appropriées à la durée de vie des structures (p. ex. tempête centennale). Il est à noter que cette préoccupation a été partiellement abordée dans les travaux additionnels de modélisation des sédiments (voir la section suivante pour plus d'information). Il serait également approprié d'effectuer une analyse des ondes de tempête associées aux conditions de vagues extrêmes. On sait que Roberts Bank est situé dans un emplacement où le fetch est limité, il est donc possible que l'intensité des vagues extrêmes ne soit pas beaucoup plus importante que celle des vagues modélisées. Cela devrait toutefois être clairement démontré. S'il s'avère que la hauteur des vagues extrêmes est supérieure à celles qui sont modélisées, les conditions de vagues plus hautes doivent être utilisées comme intrants dans la modélisation morphodynamique.

Il est à noter que l'interprétation selon laquelle « il est raisonnable d'exclure les vagues de la modélisation morphodynamique à long terme » (p. 162 annexe 9.5-A de l'EIE) pourrait ne s'appliquer que dans des conditions de vagues modérées telles que celles tirées des données de 2012. Lorsque l'on recommande des simulations de modèles qui prennent en compte des vagues extrêmes, il faut appliquer la modélisation combinée complète de vagues et de courants.

3.2.4 RCEE Document #547, Annexe 1.6 : Modélisation additionnelle du transport des sédiments

Ce rapport additionnel fournit un complément de renseignements à l'« annexe 9.5-A de l'EIE, Rapport technique de l'étude de géomorphologie côtière pour le Terminal 2 à Roberts Bank » (mars 2014); il fait suite à une discussion informelle entre le promoteur et ses entrepreneurs. Plusieurs des enjeux soulevés précédemment dans l'examen de l'annexe 9.5-A de l'EIE par RNCan ont été abordés comme suit.

1. Une analyse des conditions de vagues extrêmes dans le détroit de Georgie a été présentée pour un vent nord-ouest, indiquant une hauteur de vague de 3,1 m sur une période de récurrence de 100 ans. Il n'est pas indiqué s'il s'agit de la hauteur de l'onde significative, et la période de vagues n'est pas définie. Toutefois, l'analyse confirme que la hauteur des vagues locales est généralement limitée par le fetch; les résultats semblent donc raisonnables.
2. Le système de modélisation TELEMAC-MASCARET a été appliqué pour une tempête centennale, avec des vents nord-ouest, et en utilisant un scénario raisonnable pour la durée de la tempête. Les résultats sont présentés sous forme de cartes des taux de transport des sédiments à diverses étapes de la marée et de l'évolution morphodynamique dans les conditions existantes et dans les conditions futures avec la nouvelle structure. Les taux de transports des sédiments devraient atteindre un maximal à la mi-marée plutôt que pendant la marée haute ou la marée basse (lorsque les replats de marée sont hors de l'eau). Les changements du niveau net du lit aux environs de la structure proposée dans les conditions existantes comme dans les conditions futures avec la nouvelle structure sont évalués à moins de 10 cm. Il s'agit d'une interprétation raisonnable puisque l'énergie des vagues est rapidement dissipée dans les replats de marée; cette interprétation est conforme aux études précédentes réalisées dans la zone (Houser et Hill 2010). Il faut préciser que le changement du niveau net du lit présenté dans les résultats ne tient pas nécessairement compte de la

profondeur maximale des perturbations du lit durant la tempête extrême. Le fait que de grandes quantités de sédiments soient projetées en suspension durant les périodes d'important transport de sédiments implique que le lit est en général érodé plus profondément au cours d'une tempête que ne l'indique le niveau net (final) du lit à la fin de la tempête. Ce serait le cas à la fois dans les conditions actuelles et futures. Une sous-estimation de la perturbation du lit pourrait également entraîner une sous-estimation de la superficie de l'habitat à laquelle le Projet pourrait nuire.

3. Les résultats de simulation d'une tempête centennale indiquent clairement l'importance d'inclure l'effet des vagues sur le transport des sédiments et sur l'évolution morphodynamique dans de telles simulations. Sans la remise en suspension des sédiments engendrée par les vagues, il est montré que le taux modélisé de transport des sédiments est une à deux fois inférieur (figures 8 et 9), et que l'évolution morphodynamique modélisée (figures 12 et 13) est réduite. Ceci confirme les préoccupations soulevées dans la section 3.2.3 ci-dessus concernant l'exclusion des vagues dans l'étude de modélisation morphodynamique.

4. Les résultats de la simulation d'une tempête centennale indiquent d'importants changements morphodynamiques dans la zone des ponts-jetées et aux environs du pont-jetée de BC Ferries (figures 12 et 13). Le promoteur passe outre l'importance de ces résultats en l'absence d'une grille de résolution adéquate dans ces zones. Pour résoudre ce problème correctement, et afin de préciser l'importance des changements morphodynamiques majeurs indiqués par la simulation de la tempête centennale, on recommande de répéter les simulations de tempête avec une résolution de grille améliorée dans la zone des ponts-jetées et aux environs du terminal de BC Ferries.

5. Des simulations de modèles ont été effectuées afin d'évaluer la sensibilité des résultats à la valeur de granulométrie utilisée dans les travaux de modélisation pour les conditions existantes seulement. Comme on pouvait s'y attendre, l'utilisation d'une granulométrie légèrement plus fine entraine des taux plus élevés de transport des sédiments et des changements plus importants du niveau du lit, particulièrement à la limite de la berge, face à l'emplacement de la structure proposée. En supposant que l'échelle utilisée pour la présentation des cartes comprenne toutes les valeurs de changement de niveau du lit, les changements sont toujours de l'ordre de 10 cm. Toutefois, cette analyse de sensibilité confirme que la précision des prédictions du modèle est sensible à la granulométrie (et à de nombreuses autres hypothèses). Le modèle n'est pas ajusté aux conditions locales (et ne peut pas l'être); les résultats du modèle doivent donc être considérés comme une orientation et non comme une prescription. Par exemple, l'hypothèse d'une granulométrie unique est une simplification. Les sédiments naturels présentent une répartition de la granulométrie et varient sur le plan spatial. Les résultats de modélisation utilisant différentes granulométries indiquent une fourchette plus réaliste de scénarios possibles que les résultats de modèle unique.

6. Les simulations de modèle ont également été effectuées en recourant à différentes formulations de transport des sédiments. Le calcul du taux de transport des sédiments (et donc des changements géomorphologiques) nécessite de choisir une équation parmi quatre options dans le système de modélisation TELEMAC-MASCARET. Les différentes équations intègrent différents concepts théoriques pour le transport des sédiments (p. ex. différentes hypothèses concernant le profil vertical de la concentration des sédiments) et vont, par conséquent, générer des résultats différents. Les simulations précédentes et celles présentées dans l'annexe 9.5-A de l'EIE utilisent la formulation de Bijker (1992). Pour cette série de simulations, seules deux des quatre équations (Bijker 1992, et Dibajnia et Watanabe 1992) ont donné des résultats stables. La formulation

de Dibajnia et Watanabe a simulé des taux inférieurs de changements de niveau du lit par rapport à la formulation de Bijker. Cet exercice fournit une indication supplémentaire de la sensibilité des modèles numériques aux hypothèses.

4.0 Conclusions

Le présent examen a décelé des lacunes dans les procédures de modélisation, les hypothèses et l'évaluation des incertitudes. Certains résultats et certaines conclusions présentés dans l'analyse du promoteur, de même que les incertitudes qui y sont associées, ne sont donc pas entièrement corroborés. Ci-dessous sont recensées les principales observations et conclusions formulées dans le cadre de cet examen :

1. L'utilisation des modèles TELEMAC-MASCARET (c.-à-d. TELEMAC-3D, TOMAWAC et SISYPHE) est appropriée pour la présente étude.
2. Les données d'observation utilisées pour l'évaluation du modèle hydrodynamique ont été limitées aux données recueillies durant le mois d'août 2012, lorsque la plupart des observations sur le terrain des paramètres physiques ont été collectées; on n'a pas eu recours à toutes les données disponibles sur le terrain. On recommande d'effectuer une validation plus étendue du modèle, à l'aide des ensembles de données disponibles. Cela inclut les données du profileur de courant à effet Doppler ainsi que les données collectées au cours des mois d'hiver. En raison de l'importance de tempêtes majeures dans la dynamique des sédiments locaux, il serait important d'étendre la validation du modèle pour inclure les conditions hivernales, notamment les tempêtes majeures.
3. Afin de préciser quelles exécutions de modèle sont réellement effectuées, on recommande de fournir une liste complète de ces exécutions ou un tableau les résumant. Ce document devrait préciser la période de simulation, les composants du modèle et les forçages de modèles particuliers.
4. Étant donné l'importance des vagues comme agent d'agitation et de soulèvement des sédiments, en particulier durant les tempêtes, on recommande que les travaux de modélisation morphodynamique soient entièrement couplés avec le modèle de vagues.
5. Les simulations de tempêtes des travaux de modélisation additionnels indiquent la possibilité d'importantes répercussions sur les sédiments dans la zone des ponts-jetées et aux environs du terminal de BC Ferries. Le promoteur exprime de sérieux doutes quant à la validité de ces résultats en l'absence d'une grille de résolution adéquate dans cette zone du domaine du modèle. Afin que les résultats du modèle soient considérés comme valables, on recommande de répéter les simulations de tempêtes en utilisant une grille dont la résolution spatiale est adéquate pour la zone concernée.
6. Le rapport additionnel renforce l'étude de modélisation de l'annexe 9.5-A de l'EIE, et aborde les préoccupations soulevées par le MPO et RNCan concernant la réponse du modèle aux tempêtes et la sensibilité du modèle morphodynamique aux diverses hypothèses comme la granulométrie des sédiments. Les résultats appuient les conclusions générales de l'énoncé des incidences environnementales, et de l'annexe 9.5-A en particulier; il faut toutefois reconnaître que les résultats du modèle numérique dépendent beaucoup des hypothèses et des simplifications intégrées à la formulation du modèle et des paramètres d'entrée. Étant donné que les résultats du modèle morphodynamique sont utilisés pour fournir des données aux modèles d'écosystème (Ecopath avec Ecosim et Ecospace), il faut tenir compte de ces incertitudes dans le cadre de leur évaluation.

Collaborateurs

Collaborateur	Organisme d'appartenance
Diane Masson	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique
Philip Hill	Ressources naturelles Canada, région du Pacifique
Lesley MacDougall, rédactrice	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique

Approuvé par

Carmel Lowe
Directeur régional
Direction des sciences, Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada

7 septembre 2016

Sources de renseignements

Amoudry, L.O., Souza, A.J. 2011. Deterministic coastal morphological and sediment transport modeling: a review and discussion. Reviews of Geophysics. 49(2). (Consulté le 31 août 2016).

Bijker, E. 1992. Mechanics of sediment transport by the combination of waves and current. Proceedings of the 23rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE). (Consulté le 31 août 2016).

Dibajnia, M., Watanabe, A. 1993. Sheet Flow Under Nonlinear Waves and Currents. Coastal Engineering 1992. pp. 2015-2028. (Consulté le 31 août 2016).

Hemmera. 2014. Existing Ecological Conditions at Proposed Point Grey Tidal Marsh Project PMV Habitat Enhancement Program. Prepared for Port Metro Vancouver. (Consulté le 31 août 2016).

Houser, C., Hill, P. 2010. Wave attenuation across an intertidal sand flat: implications for mudflat development. J. Coast. Res. 26(3). 403-411. (Consulté le 31 août 2016).

McLaren, M, Ren, P. 1995. Sediment Transport and Its Environmental Implications in the Lower Fraser River and Fraser Delta. Environment Canada, Environmental Conservation. 41 p.

Port Metro Vancouver. 2015. Roberts Bank Terminal 2 Project – Environmental Impact Statement CEAA Registry Document #181 (Consulté le 26 septembre 2016)

Vancouver Fraser Port Authority. 2016. From the Vancouver Fraser Port Authority to the Review Panel re: Answers to preliminary technical questions submitted during the completeness phase from Fisheries and Oceans Canada, Natural Resources Canada, and Environment and Climate Change Canada, concerning the ecosystem modelling to support the Roberts Bank Terminal 2 Project environmental review. CEAR Document #547. (Consulté le 26 septembre, 2016).

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

Téléphone : (250) 756-7208
Courriel: csap@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet: www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2016. Examen technique de l'évaluation environnementale du terminal 2 à Roberts Bank : section 9.5 – géomorphologie côtière. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2016/045.

Also available in English:

DFO. 2016. Technical Review of Roberts Bank Terminal 2 Environmental Assessment: Section 9.5 – Coastal Geomorphology. DFO Can. Sci. Advis. Sec.Sci. Resp. 2016/045.